

УДК

ПРОЯВЛЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ВАРИАЦИЯХ СРЕДНЕШИРОТНОЙ ЭМИССИИ 630 НМ В 23 СОЛНЕЧНОМ ЦИКЛЕ

А.В. Михалев, Н.В. Костылева

DISPLAY OF SOLAR AND GEOMAGNETIC ACTIVITY IN VARIATIONS OF MIDDLE-LATITUDE 630 NM EMISSION IN 23 SOLAR CYCLE

N.V. Kostyleva, A.V. Mikhalev

В работе представляются данные регулярных наблюдений среднеширотного свечения ночной атмосферы в эмиссии атомарного кислорода 630 нм (высоты высвечивания 180–250 км) в геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (52° N, 103° E) в период 1999–2006 гг. Анализируемый период охватывает фазы роста, максимума и спада 23-го цикла солнечной активности. Рассматриваются особенности зависимостей характеристик эмиссии 630 нм от солнечных и геомагнитных индексов для различных фаз солнечного цикла. В частности, получено, что отношение максимального значения интенсивности эмиссии 630 нм в период высокой солнечной активности к минимальному значению эмиссии 630 нм в период низкой солнечной активности для широты геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН составляет ~2. Полученные результаты сопоставляются с данными измерений, полученными в предыдущие солнечные циклы другими авторами. Обсуждаются механизмы проявления солнечной и геомагнитной активности в атмосферной эмиссии 630 нм в средних широтах.

Работа выполнена при частичной поддержке программы Президиума РАН № 16 (часть 3).

In work are represented to regular data measurements of a middle-latitude nightglow of the OI 630 nm emission (heights 180–250 km) in geophysical observations of ISTP SB RAS (52° N, 103° E) during period 1999–2006. The analyzed period covers growth and recession phases, and maximum 23 solar cycles activity. Features of dependences of characteristics 630 nm emission from solar and geomagnetic indexes for various phases of a solar cycle are considered. In particular, it is received, that the attitude of the maximal value of intensity of 630 nm emission during high solar activity to the minimal value of 630 nm emission during low solar activity for breadth of geophysical observatory of ISTP SB RAS 630 nm ~2.

The received results are compared to data of the measurements received in the previous solar cycles by other authors. Mechanisms of display of solar and geomagnetic activity in atmospheric of 630 nm emission in a middle-latitude are discussed.

This work was done under state partial support of the program of Presidium of the RAS № 16 (a part 3).

Введение

Эмиссия атомарного кислорода OI 630 нм высвечивает в F-области ионосферы на высотах ~180–250 км. Локализация эмиссии 630 нм в F-области, механизмы ее возбуждения определяют тесную связь этой эмиссии с ионизацией области F2 ионосферы и зависимость от солнечной активности. Коэффициент вариации эмиссии 630 нм при переходе от низкой солнечной активности к высокой в разных широтных зонах оказывается различным, изменяясь от ~7 (низкие широты) до ~2 (средние широты) [1]. Кроме того, для одной станции в различные солнечные циклы этот коэффициент вариации эмиссии 630 нм может изменяться [2]. В средних и низких широтах в ночное время эта эмиссия в основном обусловлена реакцией диссоциативной рекомбинации $O_2^+ + e \rightarrow O + O^*(^1D, ^1S)$; $O^*(^1D) \rightarrow O + h\nu$ (630 нм). В пред- и послесумеречные интервалы времени возможен дополнительный вклад за счет прихода из сопряженной области фотоэлектронов $e^+ + O \rightarrow O^*(^1D)$. И наконец, в период летнего солнцестояния для некоторой широтной зоны возможен вклад фотодиссоциации $O_2 + h\nu \rightarrow O(^3P) + O^*(^1D)$. Соотношение вклада этих механизмов в общую интенсивность эмиссии 630 нм зависит от широты, долготы, местного времени и сезона года [3]. В следствие этого в общем случае зависимость интенсивности эмиссии 630 нм от солнечной активности может носить сложный характер и иметь свои особенности в различных широтно-долготных зонах.

Основной целью настоящей работы являлось определение коэффициента вариаций интенсивности эмиссии 630 нм и особенностей ее вариаций при изменении солнечной активности в текущем 23-м солнечном

цикле для средних широт азиатского континента (геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН).

Аппаратура и методика наблюдений

В настоящей работе использованы экспериментальные данные наблюдения эмиссии 630 нм, полученные в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (52° N, 103° E) в период с января 1999 г. по апрель 2006 г. Оптические измерения проводились с помощью зенитного фотометра «Феникс», рабочие длины волн 557.7 нм, 630 нм и спектральные полосы 360–410 и 720–830 нм. В работе анализировались полуночные значения интенсивности эмиссии 630 нм. Для оценки изменений солнечной и геомагнитной активности использовались данные NOAA/SEC Boulder (ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_RADIO/FLUX/) – поток радиоизлучения Солнца на длине волны 10.7 см ($F_{10.7}$) и планетарный A_p -индекс соответственно.

Результаты наблюдений и обсуждение

На рис. 1 приведены среднеемесячные значения индекса радиоизлучения Солнца $F_{10.7}$ (а), полуночных интенсивностей красной эмиссии атомарного кислорода 630 нм (б) и индекса геомагнитной активности A_p (в) для интервала с января 1999 г. по апрель 2006 г. Рассматриваемый период охватывает фазы роста, максимума и спада текущего 23-го солнечного цикла. Из рис. 1 видно, что в общем случае интенсивность эмиссии 630 нм в 23-м солнечном цикле изменялась в фазе с солнечным циклом, увеличиваясь от периодов низкой солнечной активности к периоду высокой солнечной активности. Максимальное среднеемесячное значение интенсивности эмиссии 630 нм (J_{630}) отмечалось в июле 2000 г. (~82 Рл) и мо-

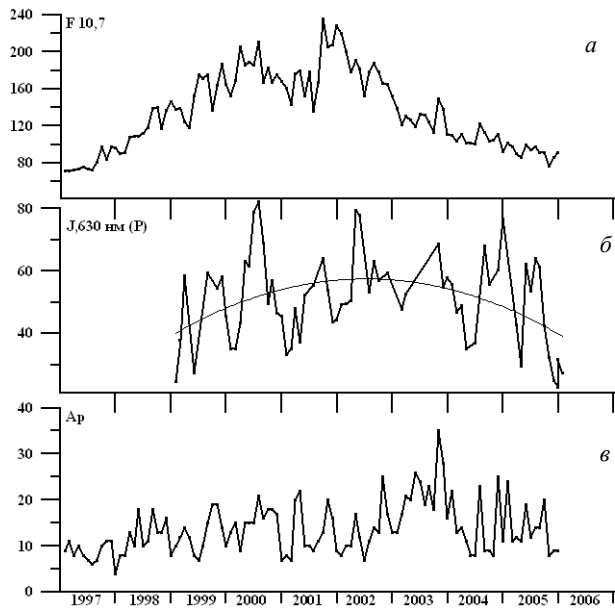


Рис. 1. Среднемесячные значения индекса радионизлучения Солнца $F_{10.7}$ (а), полуночных интенсивностей красной эмиссии атомарного кислорода 630 нм (б) и индекса геомагнитной активности A_p (в) для интервала с января 1999 г. по апрель 2006 г.

жет быть соотнесено с первым максимумом индекса $F_{10.7}$. Минимальное среднемесячное значение J_{630} за анализируемый период отмечалось в марте 2006 г. Более сильный 2-й максимум солнечной активности по индексу $F_{10.7}$ в конце 2001–начале 2002 гг. не дал аналогичных повышенных среднемесячных значений J_{630} . Возможно, это связано с существованием сезонного хода эмиссии 630 нм [4]. На рис. 2 для геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН приведен сезонный ход среднемесячных полуночных значений J_{630} , полученный усреднением среднемесячных данных наблюдений за 1999–2006 гг. (Более высокие значения J_{630} в летние месяцы по сравнению с зимними могли обеспечить более высокие абсолютные значения J_{630} в июле 2000 г., чем в период конца 2001–начала 2002 гг. при сопоставимых уровнях возмущений).

Для количественных оценок многолетних вариаций атмосферных эмиссий часто используют среднегодовые значения интенсивностей соответствующих эмиссий [2–4]. В нашем случае, в виду отсутствия полных данных за 2006 г., соответствующий по прогнозам минимуму солнечной активности, в качестве оценок многолетних вариаций J_{630} были использованы средние значения J_{630} за 4 первых месяца каждого года. На рис. 3 приведены средние значения J_{630} и $F_{10.7}$ за 4 месяца (январь–апрель) для 1999–2006 гг. Использование первых 4-х месяцев года позволяет достичь еще одного эффекта – частичного разделения эффектов солнечной и геомагнитной активности, что для эмиссии 630 нм является достаточно сложной задачей [3], поскольку с ростом солнечной активности возрастает частота возникновения геомагнитных бурь. Согласно [5] наибольшее число магнитных бурь в их сезонном ходе наблюдается в осенние месяцы (сентябрь–ноябрь).

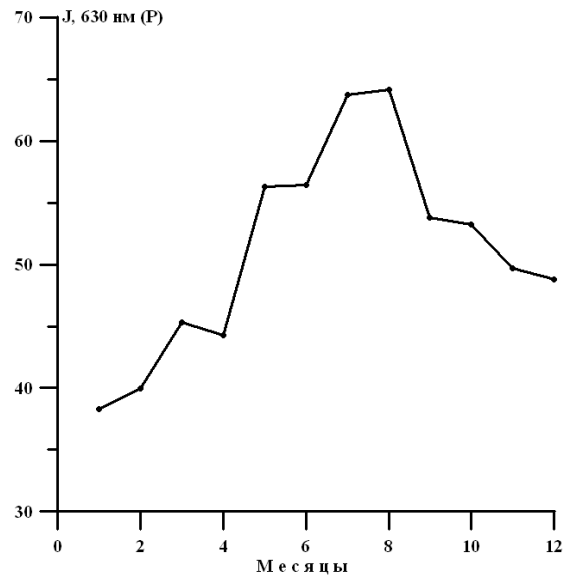


Рис. 2. Сезонный ход среднемесячных полуночных значений интенсивностей красной эмиссии атомарного кислорода 630 нм.

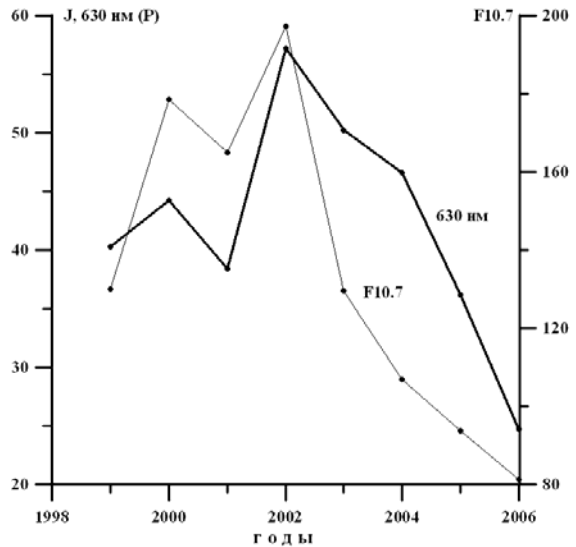


Рис. 3. Средние значения J_{630} и $F_{10.7}$ за 4 месяца (январь–апрель) для 1999–2006 гг.

Приведенные на рис. 3 кривые значений J_{630} и $F_{10.7}$ показывают их достаточно высокую корреляцию (коэффициент корреляции 0.68) с максимумом в 2002 г. Корреляция полученных аналогичным образом J_{630} и A_p для этих месяцев оказывается меньше (коэффициент корреляции ~ 0.5). Использование средних значений за сентябрь–ноябрь в качестве оценки многолетних вариаций эмиссии 630 нм, напротив, дает большие коэффициенты корреляции между J_{630} и A_p (коэффициент корреляции 0.64), чем между J_{630} и $F_{10.7}$ (коэффициент корреляции ~ 0.43).

Полученная оценка коэффициента многолетних вариации эмиссии 630 нм в 23-м цикле солнечной активности от максимума солнечной активности к минимуму по первым четырем месяцам года дает значение ~ 2.3 . Эта величина достаточно хорошо согласуется с коэффициентами вариаций эмиссии 630 нм, полученными для среднеширотных станций Верхний Прованс (~ 2) [6], Звенигород (~ 2.5 при изменениях $F_{10.7}$ от 95 до 190) [7], а также с оценка-

ми, полученными по эмпирической модели вариации эмиссии атомарного кислорода 630 нм [3] для среднегодовых (~1.4) и полуночных (~1.85) значений J_{630} , если в качестве значений $F_{10.7}$ взять реальные значения $F_{10.7}$ первых четырех месяцев (январь–апрель) для 2002 г. ($F_{10.7}$ ~197, максимальные 4-месячные значения J_{630}) и 2006 г. ($F_{10.7}$ ~81, минимальные 4-месячные значения J_{630}).

В то же время по данным [1] для низкоширотной станции (22° S, 45° W) изменение интенсивности эмиссии 630 нм от максимума солнечной активности к минимуму в 21-м цикле солнечной активности составило значение ~7. Авторы этой работы связывают это с более высоким отношением изменения электронной концентрации N_e по сравнению с другими атмосферными параметрами, влияющими на интенсивность эмиссии 630 нм (O, O₂, N₂), при переходе от высокой солнечной активности к низкой в области экваториальной ионосферной аномалии. В таблице 1, заимствованной из работы [1], приведены модельные атмосферные параметры N_e , O, O₂, N₂ для средне- (Верхний Прованс) и низкоширотной станций для двух уровней солнечной активности. Из таблицы следует, что коэффициенты изменений основных атмосферных параметров, которые потенциально могут влиять на интенсивность эмиссии 630 нм, для среднеширотной станции лежат в диапазоне 1.35–3.75.

В связи с обсуждаемым вопросом, особо следует отметить приведенные в работе [2] данные многолетних измерений среднегодовых значений J_{630} , для которых в 21 и 22-солнечных циклах при сопоставимых изменениях уровней солнечной активности по индексу $F_{10.7}$ (от низкого к высокому) изменения среднегодовых значений J_{630} существенно отличаются. Это, вероятно, может указывать на различный характер изменений атмосферных параметров, формирующих эмиссию 630 нм, или на изменение вклада различных эффектов (например, геомагнитной активности) в разные солнечные циклы.

В работе [3] указывается на циклические аperiodические вариации эмиссии 630 нм, обусловленные солнечной активностью с приблизительным периодом 2–3 года. Нами была предпринята попытка выделить вариации с такими периодами на анализируемом интервале времени (январь 1999 г.–апрель 2006 г.). На рис. 4 приведены среднемесячные значения J_{630} с усреднением скользящим средним по 7 месяцам за указанный период наблюдений. Предварительный анализ кривой, приведенной на рис. 4, действительно, позволяет выделить 2–3 летних вариации эмиссии 630 нм. При этом следует отметить, что второй максимум кривой (рис. 4) может быть соотнесен с максимумом 23-го цикла солнечной активности, а первый и третий максимумы с фазами роста и спада солнечного цикла, когда обычно отмечают увеличение геомагнитной активности. В этом случае кривая на рис. 4 может быть результатом наложения не совпадающих по фазам эффектов вариаций солнечной и геомагнитной активности.

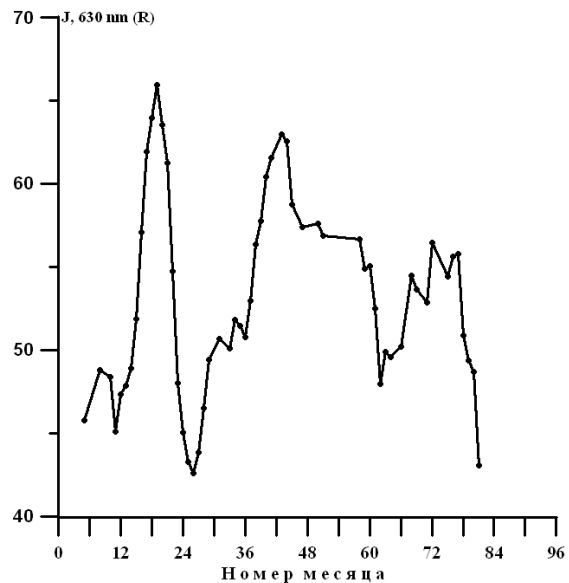


Рис. 4. Среднемесячные значения J_{630} с усреднением по 7 месяцам. Нумерация начинается с января 1999 г.

Выводы

Таким образом, проведенный анализ поведения ночных интенсивностей эмиссии атомарного кислорода 630 нм позволил получить следующие предварительные выводы:

1. В общем случае по данным наблюдений в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН интенсивность эмиссии 630 нм в 23-м солнечном цикле изменялась в фазе с солнечным циклом, увеличиваясь от периодов низкой солнечной активности к периоду высокой солнечной активности. Отношение значений интенсивностей эмиссии 630 нм в максимуме и минимуме солнечной активности составило величину ~2.3. Вероятно, в различные солнечные циклы это отношение может варьировать в связи с особенностями конкретных солнечных циклов.

2. В вариациях среднемесячных значений эмиссии 630 нм выделяются 2–3-летние периоды, которые, возможно, связаны с наложением не совпадающих по фазам эффектов вариаций солнечной и геомагнитной активности.

Работа выполнялась при поддержке программы Президиума РАН № 16 (часть 3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sahai Y., Takahashi H., Bittencourt J.A., et al. Solar and Seasonal variations of the low latitude OI 630 nm night-glow // J. Atmos. Terr. Phys. 1988. 50(2). P. 135–140.
2. Гивишвили Г.В., Лещенко Л.Н., Лысенко Е.В. и др. Многолетние тренды некоторых характеристик земной атмосферы. Результаты измерений // Известия АН. Физика атмосферы и океана. 1996. Т. 32, № 3. С. 329–339.
3. Шефов Н.Н., Семенов А.И., Юрченко О.Т. Эмпирическая модель вариаций эмиссии атомарного кислорода 630 нм. 1. Интенсивность // Геомагнетизм и аэрономия. 2006. Т. 46, № 2. С. 250–260.

4. Фишкова Л.М. Ночное излучение среднеширотной верхней атмосферы Земли. Тбилиси: МЕЦНИЕРЕБА, 1983. 271 с.

5. Russell C.T., McPherron R.L. The semiannual variation of geomagnetic activity // J. Geophys. Res. 1973. V. 78(1). P. 92.

6. Barbier D. // Ann. Geophys. 1965. V. 21. P. 265.

7. Трутце Ю.Л., Белявская В.Д. Красная кислородная эмиссия 6300 Å и плотность верхней атмосферы // Геомагнетизм и аэрномия. 1975. Т. XV, № 1. С. 101–104.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск